doi:10.13866/j.azr.2019.01.26

# 京张区域生态系统健康评价与应对策略[①]

马振刚， 李黎黎， 杨润田， 王宝钧
（张家口学院旅游与环境学院，河北 张家口 075000）

**摘 要：**利用遥感和GIS空间分析方法，以66个小流域为评价单元，对京张区域生态系统状况进行了分析，提出了相应对策。研究表明：① 京张区域生态系统健康水平整体较差，近6成面积区域生态不健康或较不健康；② 京张两市交界处存在一个健康指数高的生态绿带，由此向东南、西北两侧健康指数逐渐降低，北京生态健康指数整体高于张家口；③ 京张区域生态健康状况在县域尺度上出现了两级分化的情况，健康等级面积占比高于80%的县区和低于30%的县区占大多数；④ 平均斑块面积指数低是制约京张全域生态健康的全局性因素；初级生产力低、人类干扰程度高、河网密度低等是生态不健康区域的主要影响因素。对策：① 保护好京张交界处的生态绿带，重点加强37号小流域生态建设；② 加强京张区域东南、西北两翼边缘地区生态建设，坝上边缘加大退耕还林草，北京东南缘的66号和39号小流域要重点控制城市面积扩展，提高自然植被斑块面积；③ 加强对一般健康流域的监管，促使小的镶嵌斑块发展为连片面状健康区域；优先治理张家口连片生态较不健康区域；④ 生态建设重点是提高植被斑块面积和植被覆盖度，降低大规模的耕种和城市化建设，修复河网；⑤ 在张家口建立生态特区。

**关键词：**生态系统健康；小流域；空间特征；应对策略；京张区域



北京、张家口两市毗邻，是京津冀协同发展的组成区域，两市具有广泛的地缘、业缘和人缘联系。张家口建城立市，建设京张铁路，成为第二延安所在地等事件，均打下了京张紧密联系的烙印[1-2]。北京携手张家口举办2022年冬奥会，更为两地协同发展提供了新的更高平台。京张两地生态区位特殊，张家口位于北京的上风上水处，是北京的水源涵养区和生态支撑区，是北京建设世界城市的生态腹地，两地具有生态一体性[3-4]。加强两地生态建设，对推动京津冀协同发展、筹备举办冬奥会均具有重大意义。为科学评价京张地区生态系统健康状况，制定科学合理的对策，促进区域生态健康发展，特开展此项研究。

## 1 研究材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究范围为京张全域。北京地处华北平原北部，背靠燕山，毗邻津冀，在西北方向与张家口相邻。辖区面积为16 410 km$^2$，山区占总面积的62%，平原区占总面积的38%。其地形西北高，东南低，平均海拔43.5 m，域内自西向东贯穿5大水系，植被以暖温带落叶阔叶林并间有温性针叶林为主，大部分平原地区已开发为农田和城镇。2017年北京市常住人口$2.17\times10^7$人，地区生产总值$2.80\times10^{12}$元[①]。

张家口市地处河北省西北部，东南毗连北京市，面积36 965 km$^2$。该市地处华北地区边缘，北侧为内蒙古背斜，南侧为燕山沉降带，在其南北两侧形成坝上、坝下2个二级地貌单元。地势决定水势，张家口市境内河流均属海河流域（一级流域），分属4个二级流域，即：滦河及冀东沿海流域、海河北系流域、海河南系流域和内蒙古高原内陆河东部流域[5]。其中，永定河水系是官厅水库的主要水源，潮白河水系是密云水库的重要水源[6]。全市多年平均降水量为409 mm，“十年九旱”是张家口市典型的气候特征。2017年，张家口市常住人口为$4.43\times10^6$人，地区生产总值$1.56\times10^{11}$元[②]。

### 1.2 数据源

数据主要包括：京张行政边界数据、Landsat TM

① 收稿日期：2018-04-20； 修订日期：2018-08-31
基金项目：国家社会科学基金项目（17BTY005）；河北省社会科学基金项目（HB18GL080）；张家口社科重点项目（Z201804）资助
作者简介：马振刚（1980-），男，副教授，主要从事自然地理和GIS方面的教学与研究工作. E-mail：zgma8888@sina.com
① 数据来自北京市统计局
② 数据来自张家口市统计局

影像数据、DEM 数字高程模型数据、京张土地利用数据、京张居民点数据。其中,遥感数据主要源于地理空间数据云,涉及 4 景影像,对遥感影像处理包括影像拼接、裁剪、辐射校正、几何校正、波段融合等。DEM 数据精度为 30 m,土地利用数据源于中国科学院资源环境研究所,像元大小为 30 m。

### 1.3 研究方法

1.3.1 *生态系统健康评价模型* 本文选择的评价指标力求充分体现人类活动对生态的影响程度,且能够通过遥感技术手段有效获取,以便实现对区域生态系统实时检测评价的目的。选取的指标具有相对系统性、可比性和可操作性。指标体系通过压力—状态—响应概念框架来表述。

(1) 状态指标。状态指标由 3 部分组成,包括结构、弹性及活力。结构用平均斑块面积指数表示;弹性用河网密度指数表示;活力用初级生产力指数表示。

(2) 压力指标。选取农田和建筑用地占总面积的面积比来表征。

(3) 响应指标。以植被覆盖指数来表征。

1.3.2 *评价指标体系及计算方法*

(1) 评价指标体系。根据压力—状态—响应指标的框架,通过筛选获得 5 项生态系统健康评价的指标(表 1)。

土地分类系统采用中国科学院资源调查分类系统,一级分为 6 大类,二级分为 25 个小类③。从土地利用数据派生的数据有平均斑块面积指数、人类干扰指数、植被覆盖指数。平均斑块面积指数反映小流域内土地利用斑块的平均面积,该指数在城市化的不同阶段所反映的生态效益不同[7-10]。考虑到本研究区既有以快速扩张为主的城镇,也有以内部填充为主的老城,情况较为复杂且在全域内城市面积占比小,所以按照一般规律对待,即平均斑块面积越小,景观破碎化越严重,对生态健康影响越负向。植被覆盖指数指林地、草地和农田面积占评价区域的面积比例,其权重如表 2。权重的确定综合考虑了林地、草地和农田的生态系统服务价值差异,谢高地等[11-12]对生态系统服务价值的研究表明,林地、草地、农田的单位面积生态服务价值当量依次降低,并认为一般情况下,生物量越大,生态系统的生态服务功能越强;同时生态系统服务价值与地理区域和经济发展阶段等有关[13],考虑到本研究区地跨华北平原、冀北山区和内蒙古高原的自然地理特点,将权重设置如表 2。人类干扰指数用耕地和建设用地占区域面积比来表示,因该值越大对生态系统健康的负面影响越大,所以对人类干扰指数进行标准化处理,对值取反,以使该指数与其他评价指数变化方向一致,即经取反后的人类干扰指数越大,代表人类干扰的程度越小,反之亦然。

**表 1 生态系统健康评价指标体系**

**Tab. 1 Evaluation index system of ecosystem health**

| 生态健康度量 | 评价指标 | | 指标来源及获取 |
|---|---|---|---|
| 状态指标 | 结构指标 | 平均斑块面积指数 | 土地利用数据派生 |
| | 弹性指标 | 河网密度指数 | DEM 数据派生 |
| | 活力指数 | 初级生产力指数 | TM 数据派生 |
| 压力指标 | 人类干扰指数 | | 土地利用数据派生 |
| 响应指标 | 植被覆盖指数 | | 土地利用数据派生 |

初级生产力指数通过 NDVI 值计算,一般认为 NDVI 值与植物的长势成正比,能够反映地表覆盖生物量。本文利用 TM 影像的 3、4 波段计算出每个像元的 NDVI 值,对评价单元内所有 NDVI 值求和后,除以评价单元面积,可得出第一生产力情况。

(2) 评价单元。尺度性是生态系统的特点之一,为便于厘清京张区域生态系统特征,本文选择小流域作为评价的基本单元。小流域的边界依托 DEM 数据,使用水文分析模型提取[14],最终将京张区域划分为 66 个小流域单元。结果如图 1。

(3) 量纲的统一。评价指标值反映了指标项对生态质量的影响程度,由于本文生态系统健康评价所使用的指标类型不同,单位各异,所以进行比较前,需要对各项指标的量纲进行统一。量纲统一采用公式如下:

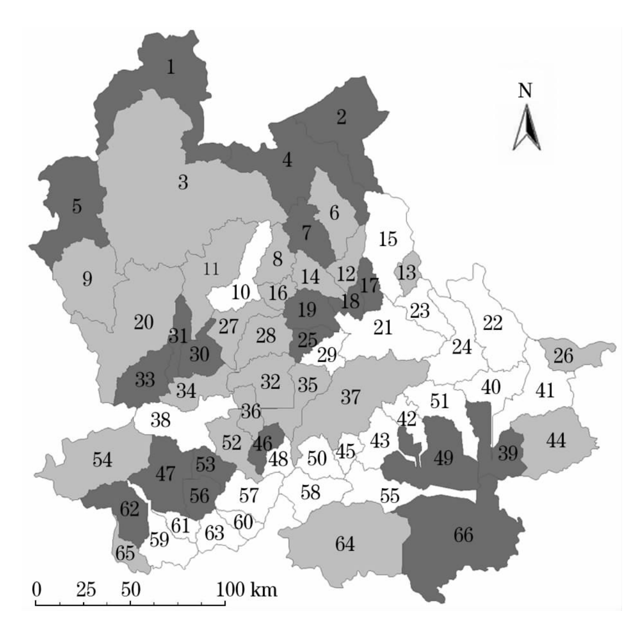
$$\text{赋值} = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \times 100 \quad (1)$$

(4) 生态健康指数计算。生态系统健康指数(ecological quality index, EQI)计算公式如下:

$$EQI = \text{平均斑块面积指数} \times w1 + \text{河网密度指数} \times w2 + \text{初级生产力指数} \times w3 + \text{人类干扰指数} \times w4 + \text{植被覆盖指数} \times w5 \quad (2)$$

生态系统健康指数是一个综合性指标,由加权分析法计算。指标权重确定方法分为主观赋权法与客观赋权法,主观赋权法主要依据专家经验人为主观确定的指标权重,虽然客观性较差,但实用性较好,应用较广[15]。陈克龙等[16]对西宁市城市生态

③ 中国科学院资源环境科学数据中心土地利用现状遥感监测数据




注:地理底图源自京津冀都市圈区域图〔审图号:GS(2016)1610号〕,未对边界进行修改。下同。

图 1 京张区域小流域评价单元划分示意图

Fig. 1 Sketch map of dividing the small watershed evaluation units in the Beijing-Zhangjiakou area

**表 2 植被覆盖指数权重**

**Tab. 2 Weights of vegetation cover index**

| 指标 | 林地面积 | 草地面积 | 农田面积 |
|---|---|---|---|
| 权重 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |

**表 3 生态系统健康评价指标权重**

**Tab. 3 Index weights of ecosystem health evaluation**

| 指标 | 平均斑块面积指数 | 河网密度指数 | 初级生产力指数 | 人类干扰指数 | 植被覆盖指数 |
|---|---|---|---|---|---|
| 权重 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |

**表 4 生态系统健康指数分级评价**

**Tab. 4 Classified evaluation of ecosystem health index**

| 级别 | EQI 值 | 生态系统健康程度 | 开发评价 |
|---|---|---|---|
| 5 | >58 | 健康区 | 优化保持 |
| 4 | 47~58 | 较健康区 | 加强保育 |
| 3 | 37~47 | 一般健康区 | 加强保育 |
| 2 | 27~37 | 较不健康区 | 重点生态建设恢复 |
| 1 | <27 | 不健康区 | 重点生态建设恢复 |

系统健康做了评价,采用主观赋值法对指标权重取均值为 0.2;郁亚娟等[17]对北京市进行了案例研究,其构建的 5 项一级指标权重赋值均为等值 0.2;虽然生态系统健康指数因区域不同会有变化,但这种变化是非常复杂且难以精确化的,毕如田等[18]以山西运城为例,对平原、丘陵、山地及综合地貌 4 种不同地貌类型的景观指数的尺度效应进行了研究,认为不同地貌的景观指数随幅度的变化比较复杂。本文在参考相关研究成果的基础上[15-20],考虑到研究区地跨华北平原、冀北山区和内蒙古高原 3 类地貌单元的面积较为均衡,故将各指标权重等量划分(表 3)。

根据研究区域生态系统的特点,参考相关研究成果[21-23],采用相对评价方法,即按照生态系统健康综合评价的得分排序、分级 ,将京张区域生态系统健康状况分为 5 级,级别由高到低反映生态质量从优到劣的变化(表 4)。

1.3.3 实施过程 计算过程主要包括基础数据处理、小流域单元提取、各单项指标计算、初级生产力计算、空间分析和结果评价。

## 2 京张区域生态健康评价与分析

### 2.1 京张区域生态健康状况

2.1.1 数量特征 通过对研究区内 66 个小流域的生态健康指数进行评价(表 5),结果显示:① 在小流域数量上,较不健康区域的数量最多,为 18 个,不健康区域为 15 个,二者合计占小流域个数的 50%;一般健康及以上小流域个数合计占 50%。② 在流域面积方面,较不健康区域所占面积最大,占京张区域总面积的31%,达到16 359 km$^2$;其次为不健康区域面积占比为29%,面积为15 641 km$^2$,二者合计面积占京张区域的 60%。③ 一般健康及以上区域面积合计占比为40%,其中一般健康区域面积占比最大,为 17%。以上分析说明京张区域的生态系统健康水平相对较差,6 成为不健康或较不健康等级区域,且有近 2 成易退化为不健康等级的一般健康等级区域,健康等级区域占比低。

**表 5 京张区域小流域生态健康情况**

**Tab. 5 Ecological health level of small watersheds in the Beijing-Zhangjiakou area**

| 等级 | 个数 | 面积/km$^2$ | 占比/% | 生态系统指数 | 斑块面积指数 | 植被覆盖指数 | 初级生产力指数 | 人类干扰指数 | 标准河网密度指数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15 | 15 641 | 29 | 22.78 | 25.90 | 23.98 | 13.73 | 22.57 | 27.70 |
| 2 | 18 | 16 359 | 31 | 33.65 | 17.48 | 40.01 | 28.85 | 48.09 | 33.85 |
| 3 | 11 | 8 875 | 17 | 43.51 | 14.00 | 54.16 | 46.16 | 65.39 | 37.82 |
| 4 | 10 | 4 968 | 9 | 53.62 | 15.30 | 70.34 | 55.61 | 79.12 | 47.73 |
| 5 | 12 | 7 326 | 14 | 64.87 | 19.84 | 88.36 | 79.13 | 95.49 | 41.55 |

注:等级 1 为不健康区域,等级 2 为较不健康区域,等级 3 为一般健康区域,等级 4 为较健康区域,等级 5 为健康区域。下同。

2.1.2　空间特征　京张区域生态健康在空间上呈现出一轴两翼的变化格局,表现为京张交界带上生态健康指数最高,向东南、西北两侧递减,中间交界带生态健康指数在 50 以上,张家口坝下大部分地区在 30 ~ 50,张家口坝上地区和北京主城区生态健康指数最低,在 30 以下。

在分布格局上,健康和比较健康区域沿京张交界处呈带状集中分布,形成连接两地的生态绿带,生态一般健康区域以斑块形态分散镶嵌在整个区域中,生态较不健康区域集中成片分布在张家口地区,生态不健康区域主要分布在张家口坝上北部和北京市南部区域,呈连片分布。

张家口区域内,生态健康状况最高等级为一般健康,包括 6 个小流域,集中在崇礼县、赤城县西南部、涿鹿县与宣化县交界带上;生态不健康区域包括 12 个小流域,主要分布在坝上边缘的 4 个小流域,阳原县和蔚县的 4 个小流域,张家口市区 2 个小流域,赤城县的 1 个小流域和涿鹿县的一个小流域;其他区域为比较不健康区域。

在北京市域内,其西北部的门头沟、昌平、密云和怀柔区生态健康指数高,大部分在比较健康及以上级别;延庆、平谷和房山区为一般健康区域;而顺义、通州、大兴和北京主城区为生态系统不健康区域,集中在 3 个小流域范围内。

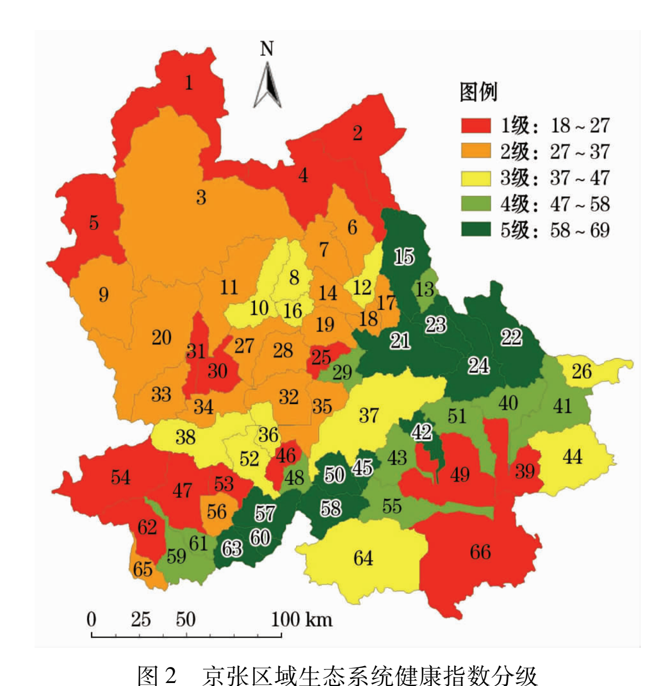



图 2　京张区域生态系统健康指数分级

Fig. 2　Classification of the ecosystem health index in the Beijing-Zhangjiakou area

**表 6　各县区生态健康面积占比统计**

**Tab. 6　Statistical results of the area proportions of the regions with healthy ecology in different counties and districts**

| 序号 | 县区 | 各生态健康等级面积/km² | | | | | 面积占比/% | | | | | 健康区域 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 级 | 2 级 | 3 级 | 4 级 | 5 级 | 1 级 | 2 级 | 3 级 | 4 级 | 5 级 | |
| 1 | 康保县 | 1 892 | 1 444 | | | | 57 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 尚义县 | 1 352 | 1 290 | | | | 51 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 万全县 | 112 | 1 047 | | | | 10 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 大兴区 | 1 047 | | | | | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 张北县 | 177 | 4 005 | 1 | | | 4 | 96 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 通州区 | 893 | | | 3 | | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 怀安县 | 132 | 1 545 | 14 | | | 8 | 91 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 8 | 张家口市区 | 120 | 344 | 6 | | | 26 | 73 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 9 | 沽源县 | 3 145 | 382 | 0 | | 77 | 87 | 11 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 10 | 宣化县 | 429 | 1 684 | 360 | | | 17 | 68 | 15 | 0 | 0 | 15 |
| 11 | 阳原县 | 1 469 | 1 | 369 | 0 | | 80 | 0 | 20 | 0 | 0 | 20 |
| 12 | 顺义区 | 792 | | 52 | 174 | | 78 | 0 | 5 | 17 | 0 | 22 |
| 13 | 北京主城区 | 967 | | 97 | 287 | | 72 | 0 | 7 | 21 | 0 | 28 |
| 14 | 蔚县 | 1 633 | 595 | 26 | 785 | 144 | 51 | 19 | 1 | 25 | 5 | 30 |
| 15 | 崇礼县 | | 1 052 | 1 283 | | | 0 | 45 | 55 | 0 | 0 | 55 |
| 16 | 赤城县 | 221 | 2 063 | 375 | 492 | 2 145 | 4 | 39 | 7 | 9 | 41 | 57 |
| 17 | 昌平区 | 574 | | 2 | 501 | 278 | 42 | 0 | 0 | 37 | 20 | 58 |
| 18 | 怀来县 | 0 | 730 | 766 | 28 | 265 | 0 | 41 | 43 | 2 | 15 | 59 |
| 19 | 涿鹿县 | 389 | 175 | 982 | 211 | 1 032 | 14 | 6 | 35 | 8 | 37 | 80 |
| 20 | 怀柔区 | 205 | | 0 | 626 | 1 281 | 10 | 0 | 0 | 30 | 61 | 90 |
| 21 | 房山区 | 63 | | 1 977 | 13 | 6 | 3 | 0 | 96 | 1 | 0 | 97 |
| 22 | 门头沟区 | 10 | | 45 | 467 | 857 | 1 | 0 | 3 | 34 | 62 | 99 |
| 23 | 密云县 | 16 | | 543 | 1 266 | 412 | 1 | 0 | 24 | 57 | 18 | 99 |
| 24 | 平谷区 | 2 | | 942 | 2 | | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 |
| 25 | 延庆县 | | 0 | 1 034 | 111 | 828 | 0 | 0 | 52 | 6 | 42 | 100 |

从图2上看,张家口市生态健康指数低于北京市生态健康指数,其中自然因素影响是主要原因,张家口整体处在半干旱地区,降水量低,植被覆盖度低;北京处在半湿润地区,降水量高,植被覆盖度高。北京市不健康小流域主要是高度城镇化区域,人类干扰强,导致生态指数低。

### 2.2 京张区域生态健康状况分县区特征分析

将小流域生态健康指数图与县区行政单元进行叠加运算,求得不同县区生态健康状况。根据生态健康等级面积(包括一般健康、较健康、健康)所占比例,对各县区进行排序,得到各县区生态健康状况。

表6显示:生态健康等级面积占比达到80%以上的区域有7个县区,为涿鹿县、怀柔县、房山区、门头沟区、密云县、平谷区、延庆县;健康等级面积占比在50%~80%的区域有4个县区,为崇礼县、赤城县、昌平区、怀来县;健康等级面积占比在30%~50%的县区没有;健康等级面积占比在10%~30%的县区有5个,健康等级面积占比在10%以下的县区有9个。从全区来看,健康等级面积占比高于50%的县区共有11个,其中有7个高于80%,低于50%的县区有14个,其中全部低于30%。在一定程度上,京张区域生态健康状况在县域尺度上出现了两级分化的情况,高于80%和低于30%的区域占比大,而处在中间区域的县区少。

从空间分布来看,地处京张交界处的县区生态健康指数高,形成了生态绿带,而由此向两侧快速下降,这与以小流域为评价单元的结果一致。

## 3 京张区域生态健康影响因素分析

生态系统健康指数受5项评价指标的综合影响,就每个等级区域和每个小流域而言,其主要影响因子各不相同。主要影响因子在很大程度上是小流域生态健康状况的主要限制因子,所以有必要加以明确。利用SPSS软件分别对每个等级的小流域进行聚类分析,进而分析每一亚类的主要影响因素。

### 3.1 不同生态健康等级区域主要影响因素

对5个健康等级区域的平均评价指数进行统计分析发现(表5):不健康等级区域的主要影响因素为初级生产力指数低;比较不健康区域的主要影响因素为平均斑块面积指数和初级生产力指数;其他3个等级健康区域的主要影响因素均为平均斑块指数。

### 3.2 生态不健康区域主要影响因素

生态系统不健康的小流域有15个,其评价体系中的5项指标整体表现为低值,生态健康指数范围在18~27,平均指数为22.78。15个小流域根据评价指标可以分为7个亚类,每个亚类主要影响因素不同(表7)。亚类11有4个小流域,其主要影响因素为平均斑块面积;亚类12有3个小流域,主要影响因素为初级生产力,即绿色植物通过光合作用把无机碳转化为有机碳的能力,说明该类区域的本底生态环境较差,绿色植物覆盖率低;亚类13有3个小流域,主要影响因素为初级生产力和覆盖指数。

### 3.3 生态比较不健康区域主要影响因素

生态系统比较不健康的小流域有18个,生态健康指数范围在27~37之间,平均值为33.65。根据评价指标可以分为4个亚类,每个亚类主要影响因素不同(表8)。其中,亚类21有13个小流域,其主要影响因素为平均斑块面积。

### 3.4 生态健康等级区域主要影响因素

生态健康等级包括健康、比较健康和一般健康区域,共有小流域33个,生态健康指数在37以上。从整体看,平均斑块面积指数是健康等级区域的主要影响因素;除此以外,个别小流域受其他因素影响程度较大(表9)。

## 4 京张区域生态建设与对策

### 4.1 保护好京张交界处的生态绿带

该区域自然地理环境好,具有先天生态优势,在京张交界地区形成了一条宽度近50 km的“屏翰神京”的生态绿带。应在做好保育的基础上,积极改善生态较健康区域,特别是加强对第37号小流域(涉及怀来、昌平、延庆)的生态修复,使生态绿带不受侵害。

### 4.2 加强京张区域东南、西北两翼边缘地区的生态建设

张家口坝上边缘要加大退耕还林草,恢复天然植被,提高植被覆盖率和初级生产能力;北京东南部,主要为66号、49号和39号小流域(涉及北京中心城区、通州、大兴、顺义),重点控制城市面积扩展,优化城市空间格局,提高自然植被斑块面积,降低不透水地面比例,减少人力干扰程度。同时,落实

表 7　生态不健康区域主要影响因素

Tab. 7　Main affecting factors in the regions with unhealthy ecology

| 生态等级 | 生态亚类 | 小流域代码 | 生态健康指数 | 平均斑块面积指数 | 植被覆盖指数 | 初级生产力指数 | 人类干扰指数 | 标准河网密度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 11 | 30 | 23.90 | **9.52** | 28.33 | 15.00 | 30.81 | 35.83 |
| | | 25 | 25.33 | **0.00** | 39.13 | 26.03 | 36.42 | 25.06 |
| | | 31 | 25.36 | **5.85** | 30.53 | 27.78 | 28.86 | 33.76 |
| | | 53 | 25.66 | **12.99** | 33.89 | 24.06 | 28.14 | 29.22 |
| | 12 | 4 | 18.48 | 19.59 | 20.88 | **1.84** | 26.52 | 23.59 |
| | | 62 | 22.14 | 26.46 | 28.97 | **5.28** | 34.67 | 15.35 |
| | | 54 | 26.04 | 34.38 | 34.81 | **0.00** | 31.63 | 29.35 |
| | 13 | 49 | 18.87 | 10.88 | **11.50** | **9.14** | 18.82 | 44.02 |
| | | 2 | 19.62 | 25.84 | **13.02** | **2.30** | 22.02 | 34.92 |
| | | 47 | 24.54 | 25.32 | **24.44** | **3.06** | 21.43 | 48.47 |
| | 14 | 5 | 22.39 | 45.07 | 21.11 | **13.29** | **15.82** | 16.65 |
| | | 1 | 26.62 | 53.22 | 22.95 | **9.17** | **14.81** | 32.95 |
| | 15 | 46 | 18.51 | **9.38** | 32.38 | 28.19 | 19.54 | **3.08** |
| | 16 | 39 | 21.72 | 28.74 | 17.71 | 31.68 | **9.15** | 21.30 |
| | 17 | 66 | 22.45 | 81.30 | **-0.01** | **9.07** | **0.00** | 21.89 |

注:黑体所对应的数据为主要影响因素。下同。

表 8　生态较不健康区域主要影响因素

Tab. 8　Main affecting factors in the regions with relatively unhealthy ecology

| 生态等级 | 生态亚类 | 小流域代码 | 生态健康指数 | 平均斑块面积指数 | 植被覆盖指数 | 初级生产力指数 | 人类干扰指数 | 标准河网密度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 21 | 7 | 29.86 | **9.62** | 34.13 | 25.50 | 52.93 | 27.12 |
| | | 33 | 30.09 | **10.19** | 36.46 | 26.50 | 40.53 | 36.74 |
| | | 19 | 31.17 | **17.30** | 37.78 | 34.55 | 40.81 | 25.40 |
| | | 28 | 33.18 | **12.14** | 41.70 | 25.99 | 49.06 | 37.00 |
| | | 20 | 34.67 | **21.68** | 34.61 | 23.66 | 48.88 | 44.53 |
| | | 32 | 34.73 | **10.45** | 41.79 | 28.76 | 47.86 | 44.81 |
| | | 14 | 35.16 | **7.08** | 41.85 | 37.70 | 55.26 | 33.89 |
| | | 17 | 35.43 | **3.20** | 46.78 | 50.82 | 55.18 | 21.18 |
| | | 6 | 35.71 | **6.61** | 36.48 | 43.05 | 52.49 | 39.91 |
| | | 35 | 36.14 | **10.80** | 48.75 | 42.99 | 49.81 | 28.34 |
| | | 11 | 36.79 | **25.03** | 41.42 | 20.50 | 55.35 | 41.66 |
| | | 27 | 37.42 | **11.99** | 45.22 | 24.49 | 57.21 | 48.18 |
| | | 18 | 30.93 | **2.09** | 34.11 | 31.64 | 29.14 | 57.65 |
| | 22 | 34 | 30.09 | 18.95 | 30.49 | **8.54** | 41.69 | 50.79 |
| | | 9 | 34.31 | 17.77 | 51.53 | **4.39** | 62.59 | 35.24 |
| | 23 | 56 | 31.33 | 22.86 | 45.02 | 33.60 | 50.82 | **4.37** |
| | | 65 | 33.66 | **6.87** | 53.76 | 38.62 | 69.03 | **0.00** |
| | 24 | 3 | 35.10 | 100.00 | 18.22 | 17.93 | **6.92** | 32.41 |

表 9　生态健康等级区域主要影响因素

Tab. 9　Main affecting factors in the regions with classified ecological health level

| 生态等级 | 小流域代码 | 生态健康指数 | 平均斑块面积指数 | 植被覆盖指数 | 初级生产力指数 | 人类干扰指数 | 标准河网密度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 16 | 45.54 | 14.16 | 56.16 | 47.44 | 92.78 | **17.14** |
| | 26 | 45.68 | 4.07 | 68.21 | 67.47 | 74.01 | **14.63** |
| | 38 | 43.26 | 17.47 | 50.23 | **16.64** | 81.01 | 50.95 |
| 4 | 13 | 55.96 | 6.73 | 86.86 | 90.98 | 94.57 | **0.66** |
| 5 | 60 | 61.99 | 14.56 | 95.39 | 100.00 | 100.00 | **0.00** |
| | 45 | 63.81 | 39.29 | 94.91 | 86.01 | 93.69 | **5.13** |

好北京城市总体规划(2016—2035 年),积极参与区域生态安全格局构建,强化燕山—太行山生态安全屏障,建设环首都森林湿地公园,建设以区域生态廊道、水系湖泊为纽带的区域绿道网;加强山水林田湖保护修复,构建区域生态网络,建设永定河—小清河绿楔、永定河生态廊道、南中轴绿楔、潮白河—通惠河绿楔和平谷—三河、潮白河绿楔等,推动北京生态绿楔与区域生态格局有机衔接。

### 4.3 加强对一般健康流域的监测和管理

对于一般健康流域应加大监测和管理力度,使之向生态健康方向发展,特别是呈现块状镶嵌分布的一般健康区,要警惕其受周围大面积生态不健康区域的影响和袭夺,出现生态恶化现象。

### 4.4 加强对张家口连片较不健康区域的建设

对镶嵌在 25 号、30 号、31 号和 46 号的小流域应优先重点治理。生态治理的核心区域是水源地、裸露地和自然保护区。要加强官厅水库水源保护,在洋河、桑干河两岸建设绿色隔离带等生态防治工程;要加强对裸露地的治理,包括坝上草场退化形成的地表裸露、内陆湖泊盐碱化区域以及坝下 5 大沙滩等;要加强自然保护区的建设,重点做好大海陀自然保护区、小五台自然保护区和阳原泥河湾标准地层剖面自然保护区的保护工作。北京市域内要加强隶属于延庆、平谷、房山 3 地的 4 个生态一般健康小流域的建设,使之发展为生态健康区域。

### 4.5 有针对性地提高平均斑块面积

研究表明除张家口坝上地区和北京主城区外,其他地区平均斑块面积较低,破碎度较大。平均斑块面积既受自然地理环境影响,也与人类活动特别是土地利用方式有关,对于城市化地区,要减少建成区的面积,特别是大面积不透水地面;对于非城市化地区,应加大人工林草地的斑块面积和连通性,提高其生态效益。

### 4.6 提高不健康区域的植被覆盖率

不健康区域普遍表现为植被覆盖指数低和初级生产力指数低。具体分为两种类型,一是张家口坝上生态不健康地区,主要受干旱缺水的自然环境和开垦土地的人类活动影响,该类区域要继续推行退耕还林还草,坝上应恢复以草原为基底的草原生态环境,两山及邻近低山丘陵区应以乔灌木森林生态系统为主,洋河和桑干河区域应形成林网保护下的农田生态系统。通过构建以小流域为单元的生态系统,形成以面状草原为主体,以带状农田为廊道,以块状森林为镶嵌的综合生态系统。二是北京主城区,该区域为完全人工景观,受大面积不透水地面影响,初级生产力和植被覆盖指数均很低,虽然市内绿化率高,但因斑块小且破碎,生态效益有限。下一步生态建设应遏制城区的摊大饼式蔓延,限制人口和产业的过度集中,避免因城市过大和拥挤而自我窒息。同时应加强对市区内绿带的建设,不断提高绿地、水域斑块面积,优化完善廊道建设。

### 4.7 在张家口建立国家级生态特区

目前,张家口正处在京津冀协同发展、与北京携手举办冬奥会、建设国家能源示范区三大历史机遇期,并与雄安新区成为河北发展的两翼之一,多重机遇叠加与生态重要性凸显并存。张家口应紧抓机遇,因势利导,加快创建国家级生态特区,探索整体解决区域内的扶贫、生态、移民、公共服务等问题,为京张生态建设提供可持续性解决方案。

## 5 讨 论

(1) 区域生态健康评价涉及多尺度、多要素、多种地貌类型组合的复杂性区域问题,这些评价背景变量的变化都会对指标体系及权重的确定产生影响,目前的研究多以单一类型区域展开,如丘陵区、城市、草地、农田等,对综合地貌类型区域研究较少,对影响区域生态健康的具体机制及量化标准还不甚明了,陈利顶等[24]提出了京津冀生态安全格局的基本框架,笔者针对研究区的综合地貌类型特点,权重值的确定简化为平均赋值,对研究区健康系统进行了评价。

(2) 景观指数在不同类型区域的生态评价的适用性问题,虽然笔者在讨论京张区域生态状况时,特别考虑了尺度问题,将其划分为 66 个小流域单元,相比于将京张区域作为一个大单元或者以县域行政区为单元的大而化之的评价相比,更深入一些,但还缺少对 66 个评价单元的进一步归类,如以城市化为主的地区,以生态保育为主的地区等;对于以不同驱动力为主的区域,生态评价的指标体系和阈值也是不一样的,笔者曾对农牧交错带地区进行过讨论[25],这个工作量是比较大的,可以作为下一步深入研究的方向,即根据影响小流域单元生态过程的主要驱动力,将评价单元进行归类,然后分区分类设置评价指标体系,据此进行生态健康评价。

(3) 区域生态系统健康与否的评价,是一个相对概念,应着力探讨京张区域生态系统健康的空间

差异,而不是为生态系统诊断疾病。

**参考文献(References):**


〔1〕 张轶欣. 张家口商业兴衰与近代城市空间的演变〔J〕. 河北北方学院学报,2008,24(2):59－63.〔Zhang Yixin. The rise and fall of Zhangjiakou commerce and the evolution of the city space in modern time〔J〕. Journal of Hebei North University,2008,24(2):59－63.〕

〔2〕 马振刚,李黎黎,闫永,等. 过渡带城市空间扩展特征及影响因素分析——以张家口市为例〔J〕. 天津师范大学(自然科学版),2014,34(3):56－61.〔Ma Zhenggang,Li Lili,Yan Yong,et al. Analysis of city spatial expansion characteristics and influencing factors of transitional zone city:Taking Zhangjiakou city as an example〔J〕. Tianjin Normal University (Natural Science Edition),2014,34(3):56－61.〕

〔3〕 李黎黎,马振刚,王宝钧. 张家口生态环境治理失效因素及应对思路〔J〕. 环境保护,2014,42(1):68－69.〔Li Lili,Ma Zhenggang,Wang Baojun. Failure factors and counter measures of ecological environment management in Zhangjiakou〔J〕. Environmental Protection,2014,42(1):68－69.〕

〔4〕 王宝钧. 基于生态联系的京张区域整合研究〔D〕. 北京:首都师范大学,2006.〔Wang Baojun. The Research on Jing-Zhang Regional Integration Based on the Ecological Relationship〔D〕. Beijing:Capital Normal University,2006.〕

〔5〕 孙杰肖. 张家口市水中长期供需预测及平衡分析〔D〕. 石家庄:河北农业大学,2013.〔Sun Jiexiao. Medium and Long-term Supply and Demand Forecasts and Balance Analysis in Water Resources of Zhangjiekou City〔D〕. Shijiahzuang:Hebei Agricultural University,2013.〕

〔6〕 张贵祥. 首都与跨界水源生态经济特区合作协调机制研究——以京张合作为例〔J〕. 生态经济,2010(2):153－157.〔Zhang Guixiang. Trans-boundary ecological economic zone of water resources:Take Beijing and the Zhangjiakou cooperation as an example〔J〕. Eco-economy,2010(2):153－157.〕

〔7〕 刘沁萍,杨永春,田洪阵. 基于景观生态视角的兰州市城市化空间模式定量研究〔J〕. 干旱区资源与环境,2013,27(1):47－52.〔Liu Qinping,Yang Yongchun,Tian Hongzhen. Quantitative study on urban spatial pattern of Lanzhou city from the perspective of landscape ecology〔J〕. Resources and Environment in Arid Areas,2013,27(1):47－52.〕

〔8〕 韦薇,张银龙,赵兵,等. 快速城市化进程中城市扩张对景观格局分异特征的影响〔J〕. 生态环境学报,2011,20(1):7－12.〔Wei Wei,Zhang Yinlong,Zhao Bing,et al. Impacts of urban expansion on spatio-temporal variation of landscape patterns during rapid urbanization a case study of Kunshan city〔J〕. Journal of Ecological Environment,2011,20(1):7－12.〕

〔9〕 仇江啸,王效科,逯非,等. 城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例〔J〕. 生态学报,2012,32(9):2 659－2 669.〔Qiu Jiangxiao,Wang Xiaoke,Gui Fei,et al. The spatial pattern of landscape fragmentation and its relations with urbanization and socio-economic developments:A case study of Beijing〔J〕. Journal of Ecology,2012,32(9):2 659－2 669.〕

〔10〕 邹月,周忠学. 西安市景观格局演变对生态系统服务价值的影响〔J〕. 应用生态学报,2017,28(8):2 629－2 639.〔Zou Yue,Zhou Zhongxue. Impact of landscape pattern change on ecosystem service value of Xi'an City,China〔J〕. Journal of Applied Ecology,2017,28(8):2 629－2 639.〕

〔11〕 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估〔J〕. 自然资源学报,2003,18(2):189－196.〔Xie Gaodi,Lu Chunxia,Leng Yunfa,et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau〔J〕. Journal of Natural Resources,2003,18(2):189－196.〕

〔12〕 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法〔J〕. 自然资源学报,2008,23(5):911－919.〔Xie Gaodi,Zhen Lin,Lu Chunxia,et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China〔J〕. Journal of Natural Resources,2008,23(5):911－919.〕

〔13〕 刘秀丽,张勃,杨艳丽,等. 五台山地区森林生态系统服务功能价值评估〔J〕. 干旱区研究,2017,34(3):613－620.〔Liu Xiuli,Zhang Bo,Yang Yanli,et al. Assessment of forest ecosystem services in the Wutai Mountainous area〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(3):613－620.〕

〔14〕 吴秀芹,李瑞改,王曼曼,等. 地理信息系统实践与行业应用〔M〕. 北京:清华大学出版社,2013.〔Wu Xiuqin,Li Ruigai,Wang Manman,et al. Geographic Information System Practice and Industry Application〔M〕. Beijing:Tsinghua University Press,2013.〕

〔15〕 彭建,王仰麟,吴健生,等. 区域生态系统健康评价——研究方法与进展〔J〕. 生态学报,2007,27(11):4 877－4 885.〔Peng Jian,Wang Yanglin,Wu Jiansheng,et al. Evaluation for regional ecosystem health:Methodology and research progress〔J〕. Journal of Ecology,2007,27(11):4 877－4 885.〕

〔16〕 陈克龙,苏茂新,李双成,等. 西宁市城市生态系统健康评价〔J〕. 地理研究,2010,29(2):214－222.〔Chen Kelong,Su Maoxin,Li Shuangcheng,et al. The health assessment of the urban ecosystem of Xining city〔J〕. Geographic Research,2010,29(2):214－222.〕

〔17〕 郁亚娟,郭怀成,刘永,等. 城市病诊断与城市生态系统健康评价〔J〕. 生态学报,2008,28(4):1 736－1 747.〔Yu Yajuan,Guo Huaicheng,Liu Yong,et al. Syndromic city illnesses diagnosis and urban ecosystem health assessment〔J〕. Journal of Ecology,2008,28(4):1 736－1 747.〕

〔18〕 毕如田,高艳. 典型地貌景观指数的多尺度效应分析——以山西省运城市为例〔J〕. 地球信息科学学报,2012,14(3):338－343.〔Bi Rutian,Gao Yan. Analysis of multi-scale effect of landscape indices of classical landforms in Yuncheng City,Shanxi Province〔J〕. Journal of Geo-Information Science,2012,14(3):338－343.〕

〔19〕 颜利,王金坑,黄浩. 基于PSR框架模型的东溪流域生态系统健康评价〔J〕. 资源科学,2008,30(1):107－113.〔Yan Li,Wang Jinkeng,Huang Hao. An assessment of ecosystem health in Dongxi river basin based on PSR framework〔J〕. Resources Science,2008,30(1):107－113.〕

〔20〕 刘明华,董贵华. RS和GIS支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价〔J〕. 地理研究,2006,23(5):930－938.〔Liu Minghua,Dong Guihua. Ecosystem health assessment and driving force analysis in Qinhuangdao area based on RS & GIS〔J〕. Geographic Re-

search,2006,23(5):930－938.〕

〔21〕孔伟,任亮,刘一凡,等.京张生态建设协同发展水平评价及提升对策研究〔J〕.资源开发与市场,2018,34(1):23－27.〔Kong Wei,Ren Liang,Liu Yifan,et al. Evaluation and upgrading of Beijing-Zhangjiakou regional coordinated development capacity of ecological construction〔J〕. Resources Development and Market, 2018,34(1):23－27.〕

〔22〕任宇飞,方创琳.京津冀城市群县域尺度生态效率评价及空间格局分析〔J〕.地理科学进展,2017,36(1):87－98.〔Ren Yufei,Fang Chuanglin. Spatial pattern and evaluation of eco-efficiency in counties of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration〔J〕. Progress in Geographical Science,2017,36(1):87－98.〕

〔23〕胡蒙蒙,张军民,徐丽萍,等.基于生态绿当量的玛纳斯河流域土地利用生态效益研究〔J〕.干旱区研究,2016,33(5):996－1 002.〔Hu Mengmeng,Zhang Junmin,Xu Liping,et al. Eco-efficiency of land use based on ecological green equivalent in the Manas River Basin〔J〕. Arid Zone Research,2016,33(5):996－1 002.〕

〔24〕陈利顶,周伟奇,韩立建,等.京津冀城市群地区生态安全格局构建与保障对策〔J〕.生态学报,2016,36(22):7 125－7 129.〔Chen Liding,Zhou Weiqi,Han Lijian,et al. Developing key technologies for establishing ecological security patterns at the Beijing-Tianjin-Hebei urban megaregion〔J〕. Journal of Ecology,2016,36(22):7 125－7 129.〕

〔25〕马振刚,李黎黎,许学工,等.北方农牧交错带地区土地利用的粒度效应研究——以化德县为例〔J〕.干旱区资源与环境,2016,30(5):92－98.〔Ma Zhenggang,Li Lili,Xu Xuegong,et al. Grain size effects of land-use in farming-pastoral transitional zone of northern China:A case study of Huade county〔J〕. Resources and Environment in Arid Areas,2016,30(5):92－98.〕



# Assessment and Countermeasures of Ecosystem Health in the Beijing-Zhangjiakou Area

MA Zhen-gang, LI Li-li, YANG Run-tian, WANG Bao-jun

(*Department of Tourism and Environment*,*Zhangjiakou College*,*Zhangjiakou* 075000,*Hebei*,*China*)

**Abstract**: In this paper,the status of ecosystem in the Beijing-Zhangjiakou region was analyzed,the strategy was put forward using the RS means and GIS spatial analysis,and 66 drainage basins were taken as the evaluation units. The results showed that the ecological health level in the Beijing-Zhangjiakou region was low,and the ecology in nearly 60% area was unhealthy or relatively unhealthy. At the junction of Beijing and Zhangjiakou cities,there was an ecological green belt with high health index. From this junction to the southeast and northwest,the index of ecological health was in a decrease trend. The ecological health index in Beijing was higher than that in Zhangjiakou. A polarization of regional ecological health status at county scale occurred in the Beijing-Zhangjiakou region,and the counties and districts where the proportion of areas with healthy ecology was higher than 80% and lower than 30% were in the majority. The low average patch area index was the overall factor restricting the ecosystem health in the Beijing-Zhangjiakou region. The low primary productivity,high level of human disturbance and low drainage density are the main factors affecting the unhealthy ecosystem. Some countermeasures were put forward:① The ecological green belt at the junction of Beijing and Zhangjiakou should be protected well,and the ecological construction in the small watershed No. 37 should be emphasized;② It was suggested to promote the ecological construction in the southeast and northwest marginal zones of the Beijing-Zhangjiakou region,enhance the implementation of the Grain for Green Project in the Bashang Plateau,and control the expansion of the urban area and enlarge the area of the natural vegetation patches in the small catchments No. 66 and No. 39;③ It was suggested to focus on the supervision of the drainage basins with general ecological health and promote the connection of small mosaic patches with healthy ecosystem; ④ The focuses of ecological construction are to enlarge the vegetation patch area and increase the vegetation coverage,reduce the large-scale construction of farming and urbanization,and improve the restoration of drainage basins. ⑤ It was also suggested to establish a special ecological zones in Zhangjiakou.

**Key words**: ecosystem health; small watershed; spatial feature; countermeasure; Beijing-Zhangjiakou region